مطالعه آزمایشگاهی ضریب جریان سرریزهای تناسبی خطی در آبگیر جانبی*

مقاله پژوهشی

جواد غفاری گوشه[۱] روح الله فتاحی نافچی[۲] حسین صمدی بروجنی[۳]

چکیده *اندازه‌گیری دقیق بده جریان در مجاری روباز و شبکه‌های انتقال آب و فاضلاب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده، به‌طوری که تاکنون انواع مختلفی از سازه‌ها از قبیل سرریزها، روزنه‌ها، فلوم‌ها و دریچه‌های کشویی به منظور اندازه‌گیری بده جریان ارائه شده‌اند. سرریزهای تناسبی دسته‌ای از سرریزهای لبه تیز هستند که به‌دلیل حساسیت کم نسبت به تغییر عمق بالادست از دقت بالایی برخوردار می‌باشند. در سرریزهای تناسبی نوع خطی، رابطه میان بده و بار آبی خطی است، در حالی‌که در انواع جذری و لگاریتمی آن، رابطه خطی به ترتیب میان بده و جذر بار آبی و لگاریتم بار آبی برقرار می‌باشد. در این تحقیق بر اساس مبانی نظری موجود در زمینه سرریزهای تناسبی و روش طراحی بدون بعد، سه نوع سرریز تناسبی خطی با مقاطع دودکشی، مثلثی معکوس و دو مثلثی معکوس طراحی و ساخته شده و در آبگیر جانبی یک کانال با مقطع مستطیلی تعبیه شدند. با انجام حدود ۴۰۰ آزمایش در محدوده بده ۲ الی ۱۶ لیتر بر ثانیه بر روی سرریزها، برقراری رابطه خطی میان بده و بار آبی در سرریزهای جانبی از نوع تناسبی خطی، به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که ضریب بده در شرایطی که این سریزها به‌عنوان آبگیر جانبی مورد استفاده قرار گیرند تابعی از نسبت‌های بدون بعد بار آبی به ارتفاع تاج سرریز و طول تاج سرریز به ارتفاع تاج سرریز می‌باشد. با استفاده از بخش عمده‌ای از نتایج آزمایشگاهی رابطه‌ای میان بده و ضریب جریان برای هر کدام از سرریزها به‌دست آمد. مقایسه نتایج حاصل از روابط به‌دست آمده با باقیمانده نتایج آزمایشگاهی نشان داد که متوسط خطای معادلات ارائه شده برابر با ۱/۵ درصد است که بیانگر دقت مناسب روابط ارائه شده می‌باشد. به‌منظور برآورد حساسیت آزمایشگاهی سرریزهای فوق از رابطه‌ی برازش داده شده میان بده و بار آبی هر یک از سرریزها استفاده گردید. نتایج نشان داد که در میان سرریزهای تناسبی خطی، سرریز دو مثلثی معکوس با محدوده‌ی رفتار خطی بیشتر دارای عملکرد بهتر و مطلوب‌تری به‌عنوان آبگیر جانبی دارا می‌باشد.*

واژه‌های کلیدی آبگیر جانبی، سرریز تناسبی خطی، ضریب بده، کانال مستطیلی.

Experimental Study Discharge Coefficient of Proportional Weirs on Lateral Intake

J. Ghaffari Gousheh R. Fattahi Nafchi H. Samadi Borojeni

Abstract *Accurate measurement of flow discharge in open channel and water and sewage transmission networks it is of special importance. So far, various types of structures, such as overflows, stomata, flumes and sliding valves, have been proposed for measuring current flow. The proportional weirs are a group of sharp edges weirs that are highly accurate due to low sensitivity to upstream depth variations. In linear proportional weirs, there is a linear relationship between the head and the discharge. In this study, based on theoretical fundamentals of proportional weirs, three proportional linear weirs with linear, triangular and reverse triangular, and two reverse triangles and three series of rectangular weirs were designed and tested in rectangular flume equipped with a side channel in hydraulic lab. About 400 laboratory experiments were carried out lead to, establish a linear relationship between the head and the discharge in linear proportional weirs based on the measurements. The range of the studied discharges varied from 2 to 16 liters per second. The experiments showed that the coefficient of discharge is as a function of two ratios, which are the water depth at the top of the weir and the length of the crest to the height of the weir. Based on these ratios, for each weir a relationship for the discharge coefficient was determined. The average error for proposed equation for linear correlation weirs was equal to 1.5 percent and for over 90 percent of laboratory data the average errors were less than this value. The results show that theoretical sensitivity in linear proportional weirs is equals to one, the more the values of the sensitivity of the studied weir are close to the theoretical values, the better the weir will be. In order to estimate the laboratory sensitivity of the above weirs, the derived relationship between the discharge and head of each weirs was used and compared. The results showed that among linear proportional weirs, inverse triangular weir with a linear relationship, has better and more accurate hydraulic performance.*

Key Word linear proportional weir, Discharge coefficient, Lateral intake, Rectangular Channel.

---

* تاریخ دریافت مقاله ۹۸/۱۲/٤ و تاریخ پذیرش آن ۹۹/۱۲/۲٦ می‌باشد.

(۱) دانشجو کارشناسی ارشد، سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد.

(۲) نویسندهٔ مسئول، دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد.

(۳) دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد.

Email: fatahi2@gmail.com

مقدمه

آبگیر جانبی به سازه‌ای اطلاق می‌گردد که عمل آبگیری در آن با استفاده از یک سرریز جانبی انجام می‌شود. سرریزهای جانبی سازه‌های حفاظتی هستند که به‌طور وسیع در آبیاری، سیستم‌های زهکشی و کنترل سیلاب به‌کار می‌روند. این سازه‌ها نقش اساسی در کانال‌های توزیع سیستم‌های آبیاری انجام داده و کاربرد بسیاری در رساندن آب مورد نیاز به محل مصرف در شبکه‌ها دارند .بهترین موقعیت برای قرارگیری سرریز جانبی در سیستم‌های مختلف مکانی است که به‌توان جریان را به-راحتی منحرف کرد تا میزان جریانی معادل عمق نرمال در سیستم باقی بماند. توانایی پیش‌بینی جریان انحرافی به طراحی سازه‌های انحراف جریان، شناخت آن‌ها و کاهش دبی سیلاب کمک زیادی می‌کند. سرریزها سازه های هیدرولیکی ساده، پرکاربرد و مؤثری هستند که برای اندازه گیری بده جریان و همچنین برای کنترل سطح آب در کانال‌ها استفاده می‌شوند. راحتی اندازه گیری بده و میزان درستی آن از عوامل مهم در انتخاب یک سرریز است. تنوع سرریزها بسیار زیاد است و به دلیل کاربرد بسیار وسیع آن‌ها، پژوهش‌های گسترده و جامعی برای شناخت رفتار هیدرولیکی و رابطه‌های حاکم بر آن‌ها انجام شده است. استفاده از انواع مختلف سرریزها به منظور اندازه‌گیری بده جریان مرسوم بوده، به‌طوری که با توجه به بار آبی روی سرریز و شکل هندسی آن، امکان تعیین بده عبوری به آسانی میسر است از میان انواع مختلف این سازه، سرریزهای تناسبی که بین بده و هد یا بارآبی آن‌ها رابطه خاصی وجود دارد به دلیل کاربرد در زمینه‌های مختلف مهندسی نظیر آبیاری و زهکشی، محیط زیست، هیدرولیک و شیمی مهم هستند[1] . طراحی سرریز تناسبی براساس رابطه مورد نظر بین بده و بارآبی صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر شکل مقطع سرریز براساس رابطه یاد شده مشخص می‌شود [2] . براساس رابطه بده و بار آبی، سرریزهای تناسبی به سه نوع یعنی سرریز تناسبی خطی، سرریز درجه دومی یا کوادراتیک و سرریز تناسبی لگاریتمی طبقه بندی می‌شوند [3]. سرریزهای تناسبی خطی، نوع خاصی از این سرریزها هستند که رابطه بین بده و هد آن ها خطی است. به دلیل وجود چنین رابطه‌ای، این سرریزها کاربردهای خاصی دارند که از آن جمله می‌توان به اندازه گیری جریان در آزمایشگاه‌های هیدرولیک به دلیل تأمین دقت مورد نظر، نصب در خروجی حوضچه ترسیب به منظور حفظ سرعت جریان در اطراف سرعت متوسط برای ته نشینی رسوبات و همچنین برای کنترل مواد اشاره کرد [4]. شکل‌های مختلف سرریزهای تناسبی با توسعه معادلات و کاربرد روش‌های عددی و همچنین به‌صورت آزمایشگاهی، توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی‌ها برای ارزیابی شکل هندسی سرریز تناسبی با کمترین میزان حساسیت نسبت به عمق آب بالادست و کمترین خطای ایجاد شده در محاسبه بده به‌عمل آمده است. به‌دلیل خطی بودن تغییرات بده در برابر ارتفاع آب روی سرریز، درسرریز تناسبی خطی، خطای قرائت ارتفاع آب به‌صورت خطی در بده ظاهر می‌شود، در حالی که در سرریزهای دیگر، به‌دلیل وجود توان بیش از یک در رابطه بده– بار آبی، مقدار خطای ایجاد شده به ازای مقدار معین خطا در قرائت بار آبی بیشتر از مقدار مربوط به سرریز تناسبی است. همچنین به‌دلیل نرخ ثابت تغییرات ارتفاع آب روی سرریز نسبت به افزایش بده در سرریزهای تناسبی، اندازه‌گیری بارآبی تسهیل و میزان خطا در قرائت بار آبی کاهش می‌یابد.

سابقه مطالعات

اساس طراحی سرریز تناسبی خطی، ایجاد رابطه خطی بین بده و هد است، یعنی حساسیت هیدرولیکی در این سرریز مطابق معادله (۱) برابر با واحد است.

$$S = \frac{dQ}{dh}\frac{h}{Q} = 1.0 \qquad (۱)$$

در معادله (۱) ، S حساسیت هیدرولیکی، dQ تغییرات بده، Q بده، و h و dh به‌ترتیب بار آبی روی

سرریز و تغییرات آن است .ایده اولیه سرریز تناسبی توسط استات ارائه شد [5]، اما تلاش او برای به‌دست آوردن مقطعی که بتواند اندازه‌گیری بار آبی را تسهیل کند، به دلیل لزوم ایجاد عرض بی‌نهایت در تاج سرریز ممکن نشد [3]. به بیان دیگر اگرچه روش ارائه شده برای تعیین مقطع سرریز تناسبی دقیق بوده است، اما از آنجا که در این روش با نزدیک شدن عمق به حداقل مقدار خود، عرض سرریز به بی‌نهایت میل کرده که از جنبه اجرایی و نیز اقتصادی توجیه پذیر نبود، لذا این روش برای اهداف عملی کاربردی نیست [6]. برای حل این مشکل پیشنهاد شد که سرریز تناسبی خطی بر روی یک سرریز مستطیلی قرار داده شود که این توصیه منجر به توسعه عملی و ساخت این سرریز شد.

تروسکولانسی [7] اولین کسی بود که سرریز ذوزنقه معکوس با یک زاویه راس تقریبا ۵۰ درجه را معرفی نموده و گزارش کرد که معادله بده-بار آبی این سرریز تقریبا خطی است. کشاوا مورتی و گایریدهار[4] با هدف تسهیل در ساخت، اما با محصور نمودن مقدار انحراف در محدوده مجاز، سرریز ذوزنقه معکوس را به صورت یک مثلث معکوس در نظر گرفتند و ضمن به دست آوردن روابط نظری برای استفاده از آن، به بررسی عملکرد آزمایشگاهی آن پرداختند. کشاوا مورتی و گایریدهار [8] برای بهبود دامنه تغییرات خطی سرریز مثلثی معکوس یک سرریز مستطیلی با عرض ۰/۱۳۲۵ b (b عرض تاج سرریز) و عوق ۰/۷۳۵ d (d ارتفاع سرریز مثلثی معکوس) به سرریز مثلثی معکوس اضافه کردند، این تغییر باعث شد تا دامنه عملکرد خطی سرریز مثلثی معکوس به‌طور زیادی، یعنی بیش از دو برابر افزایش یابد. این سرریز که به سرریز دودکشی معروف است برای جریان‌های در محدوده‌ی عمق‌های بین ۰/۲۲d و ۲/۴۳d بالای تاج سرریز، دارای انحراف بده‌های تئوری از رابطه خطی به مقدار کمتر از ۱/۵٪ است. ایشان بر اساس مطالعه آزمایشگاهی بر روی ٤ سرریز خطی، نتیجه گرفتند که میانگین ضریب بده برابر با ۰/٦۱۵ است.

همچنین سه عدد سرریز دودکشی مختلف را مورد آزمایش قرار داده و نشان دادند که رابطه خطی بین بده و بار آبی سرریز مثلثی معکوس، برای سرریز دودکشی نیز معتبر است. سوامی و همکاران با توجه به تحقیقات قبلی در زمینه سرریزهای خطی که توسط بنکس و همکاران ، چاندراسک هاران و راوو، لاوک و راوو و عبدالهوکاری صورت گرفته بود و با فرض ثابت بودن ضریب بده، نیمرخ سرریز خطی را توسعه داده و سپس با بررسی تغییرات ضریب بده با نسبت بار آبی به ارتفاع سرریز، نیمرخی برای سرریز خطی ارائه کردند که نیاز به قاعده و سطح مبنای اصلاح شده ندارد[9]. بددور [6] یک معادله کلی برای محاسبه بده برای سرریزهای چند جمله-ای (که در آن‌ها رابطه حاکم بر طراحی از چندین جمله تشکیل شده است) بر مبنای شکل جدید سرریز چند جمله‌ای ارائه داد. ایشان با بهینه سازی ضرایب سرریز چند جمله‌ای، سرریزی طراحی نمود که رفتار آن مشابه سرریز خطی یا تناسبی است. وطن‌خواه و کوچک‌زاده با استفاده از تابع گاما شکل کلی رابطه بده برای سرریز چندجمله‌ای از درجه n را توسعه دادند. آن‌ها با استفاده از این راه حل کلی، راه حل دقیق سرریز خطی را به‌دست آوردند[10]. با توجه به اینکه این راه حل دقیق سرریز خطی مختص اهداف کاربردی نیست، لذا آن‌ها یک راه حل دقیق اصلاح شده را پیشنهاد دادند. وطن‌خواه برای بهبود دامنه تغییرات خطی سرریز مثلثی معکوس پیشنهاد کرد که اگر به جای مقطع مستطیلی در سرریز دودکشی از مقطع مثلثی استفاده شود، ضمن افزایش دامنه خطی سرریز دودکشی، میزان خطای انحراف از رابطه خطی کاهش می‌یابد .همچنین وی با بهینه‌سازی و بی بعد سازی روابط تئوری سرریزهای مثلثی معکوس و دودکشی و دو مثلثی معکوس جدولی را برای تسهیل طراحی سرریز های فوق ارائه کرد. [11] بررسی منابع نشان می‌دهد تاکنون در زمینه تحلیل حساسیت سریزهای جانبی تناسبی و خطی در شرایط هد متغیر در کانالهای آبیاری، تحقیق منتشر شده‌ای وجود ندارد لذا این پژوهش به این

منظور برنامه ریزی و انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

با توجه به اهداف مورد نظر در این تحقیق که شامل بررسی آزمایشگاهی سرریزهای تناسبی در آبگیر جانبی و نیز تعیین پارامترهای مؤثر بر روی ضریب بده جریان بود، یک مجموعه آزمایشگاهی طراحی شده و سپس آزمایش‌های متعددی بر روی مدل‌های طراحی شده از سرریزها انجام گرفت. به منظور ساماندهی آزمایش‌ها از نظر تعداد و تنوع آن‌ها، ابتدا عوامل دخیل در تعیین ضریب جریان مشخص شده و سپس با استفاده از روش آنالیز ابعادی، معادلات بدون بعد تعیین شده و برنامه‌ریزی آزمایش‌ها به عمل آمد. اگر از انرژی جنبشی بالادست و اثرات کشش سطحی صرفنظر شود معادله عمومی برای دبی عبوری سرریزهای تناسبی به صورت رابطه (۲) زیر است:

$$Q = C_d \int_{h=0}^{h=H} \sqrt{2g(H-h)}\ \ b(h)dh \qquad (۲)$$

در معادله (۲) ، Q دبی جریان عبوری، C_d ضریب جریان، H ارتفاع حداکثر آب در بالادست (حداکثر هد ایستائی) و h فاصله سطح آب نسبت به تاج سرریز و b(h) نصف طول تاج که برحسب توع سرریز (خطی، جذری، لگاریتمی) بصورت تابعی از عمق آب روی تاج تعریف میشود. بر اساس مطالعات به عمل آمده، متغیرهای مؤثر بر ضریب بده جریان عبارتند از P، H، L، B و v که به ترتیب نشان دهنده ارتفاع تاج سرریز از کف کانال، بار آبی روی سرریز، طول تاج سرریز، عرض کانال و سرعت جریان می‌باشند. همچنین کشش سطحی σ، لزوجت دینامیکی آب μ و جرم مخصوص آب ρ نیز از پارامترهای مؤثر بر ضریب بده جریان هستند.

مطابق با تئوری پای Π باکینگهام، با توجه به وجود هشت متغیر و سه بعد، تعداد پنج عامل بدون بعد تعیین و رابطه (۳) برای تخمین ضریب جریان به‌دست آمد:

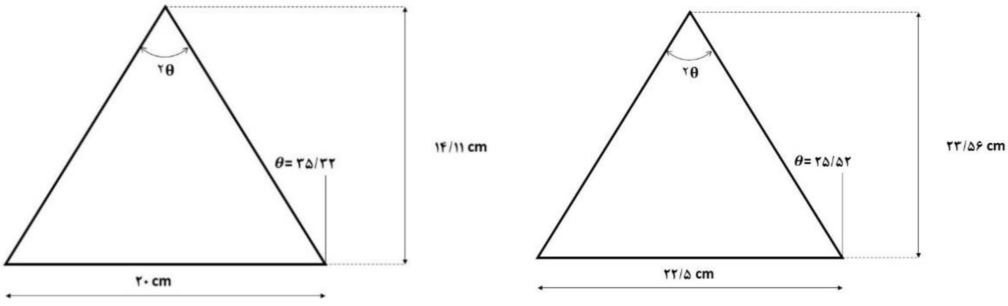
$$C_d = f\left(\frac{L}{P}.\frac{H}{P}.\frac{B}{P}.R_n.W_n.F_r\right) \qquad (۳)$$

در رابطه (۳) R_n معرف عدد رینولدز، W_n عدد وبر و Fr عدد فرود است. با توجه به ناچیز بودن نیروهای لزوجت و نیز کشش سطحی و زیر بحرانی بودن جریان، می‌توان از عبارات بیان کننده نیروهای لزوجت و کشش سطحی و وضعیت جریان در کانال صرف‌نظر کرده و از آنجا که عرض کانال مقداری ثابت است و همچنین از پارامترهای طراحی نیز نیست، لذا متغیر بی‌بعد B/P نسبت به متغیر بی‌بعد L/P از اهمیت کمتری برخوردار است. لازم به ذکر است که L یا به عبارتی طول تاج سرریز از جمله پارامترهای طراحی سرریز محسوب می‌شود [12]. در نتیجه متغیرهای H/(H+P) و L/(L+P) به عنوان متغیرهای بی -بعد مؤثر بر ضریب بده تعیین شدند و آزمایش‌ها بر این اساس برای تعیین ضرایب بده آزمایشگاهی در برابر تغییرات هر یک از این پارامترها برنامه‌ریزی شدند

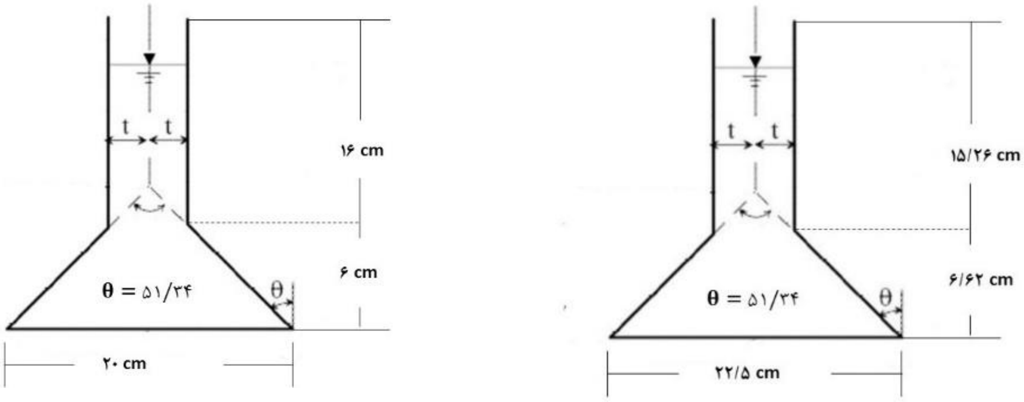
مدل آزمایشگاهی

آزمایشات این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد و روی فلومی با مقطع مستطیلی به طول ۲۰ متر، عرض و ارتفاع ۰/٦متر با شیب ۰/۰۰۱ انجام شد. جنس دیواره این فلوم از پلاکسی گلاس به ضخامت ۲ سانتی متر و کف آن فلزی می‌باشد. فلوم مذکور با یک پمپ سانتریفوژ با حداکثر دبی ۷۰ لیتر بر ثانیه تغذیه می‌شود جریان در این مدل چرخه‌ای را طی می‌کند که انتهای آن به حوضچه انتهایی ختم می‌گردد. با توجه به وجود محدودیت برای برداشت دیواره فلوم جهت نصب سرریزها ناچار به تعبیه دیواره‌ای در وسط کانال شده به-طوری که عرض کانال به دو قسمت مساوی تقسیم و درنتیجه عرض کانال به ۳۰ سانتی‌متر تبدیل گردید. برای اندازه‌گیری دبی انحرافی سرریزها از یک سرریز مثلثی، با طول ۳۰ سانتیمتر و زاویه راس حدودا ۵۰ درجه در انتهای کانال انحرافی استفاده شد. برای انجام آزمایش‌ها ۳ مدل سرریز تناسبی خطی با مقاطع دودکشی، دو مثلثی معکوس و مثلثی معکوس مطابق شکل (۱) طراحی

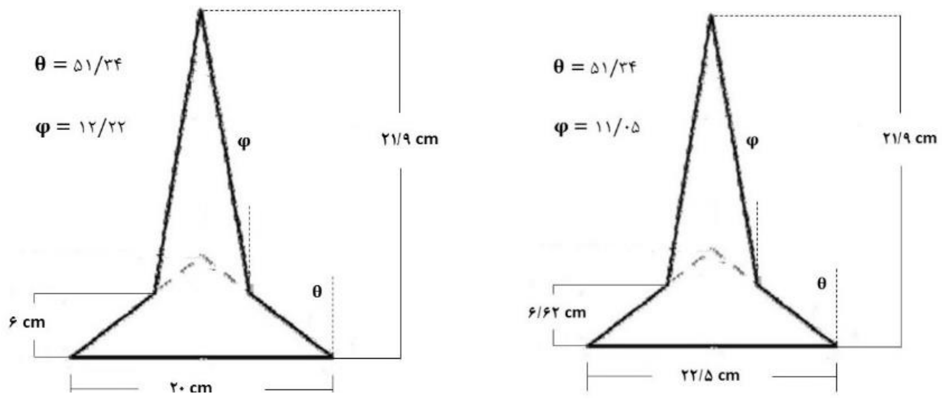
شدند. نمای سرریزها حین آزمایش و نمایی از فلوم آزمایشگاهی در شکل‌های (۲) و (۳) آورده شده است. تمامی آزمایش‌ها در شرایط زیربحرانی انجام شده و عمق جریان در بالادست سرریزها در مرکز کانال اصلی اندازه‌گیری شده که با توجه به ارتفاع سرریزها بین ۲۰-۶۰ سانتی‌متر متغیر بود.



(الف) سرریز مثلثی معکوس

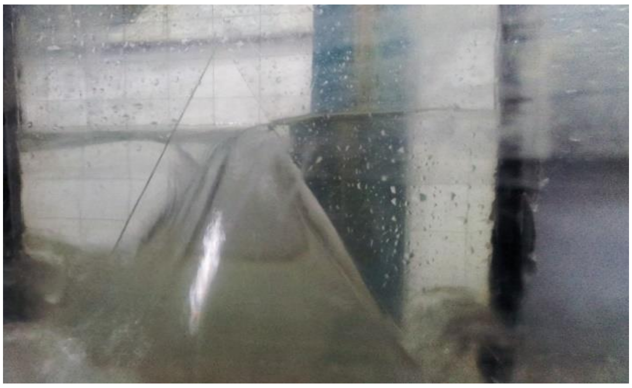


(ب) سرریز دودکشی

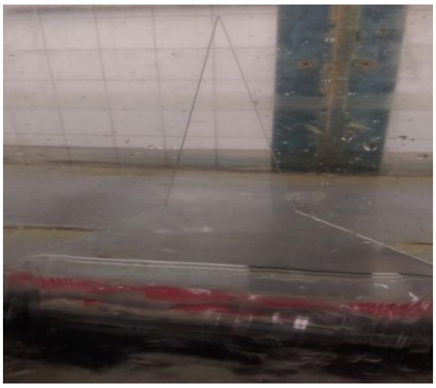


(ج) سرریز دو مثلثی معکوس

شکل ۱ نمای توصیفی از سرریزهای طراحی شده



(الف) سرریز مثلثی معکوس



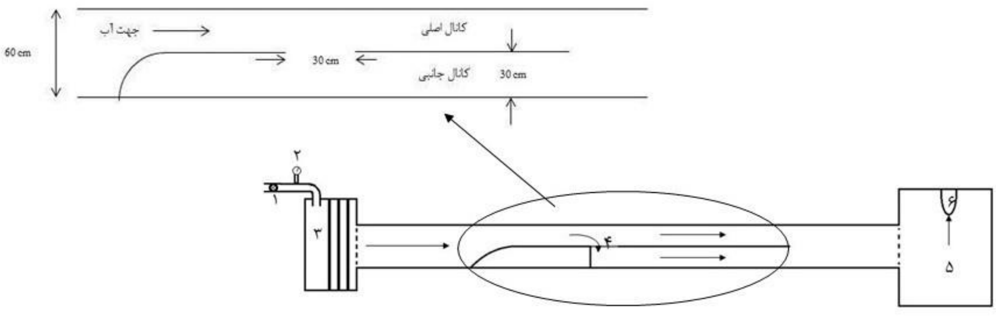
(ب) سرریز دو مثلثی معکوس



(ج)

سرریز دودکشی

شکل ۲ نمایی از سرریزهای تناسبی مورد آزمایش



۱- شیر تنظیم ورودی آب، ۲- فلومتر مغناطیسی، ۳- مخزن آرام کننده جریان، ٤- محل قرارگیری سرریز، ۵- مخزن جمع‌آوری آب، ٦- خروجی آب به‌سمت پمپ

شکل ۳ نمایی شماتیک از فلوم آزمایشگاهی

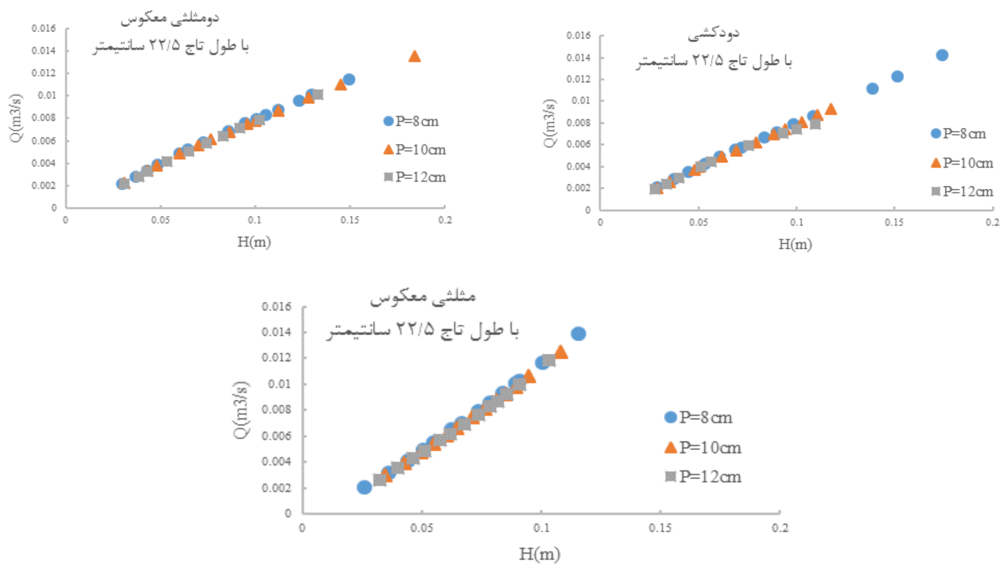
لازم به ذکر است از آنجا که محل اندازه‌گیری عمق جریان برای سرریز تناسبی در فاصله‌ای معادل دو برابر بار آبی حداکثر در بالادست سرریز توصیه شده است [2]. عمق جریان توسط عمق سنج با دقت ۲/. ± میلی‌متر در فاصله ۲۵ سانتی‌متری پشت سرریز قرائت می‌شد. این فاصله برای تمامی آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد.

گام‌های مورد استفاده برای تغییر بده عبوری حدود ۰/۵ لیتر بر ثانیه تعیین شد تا طیف وسیعی از دبی‌ها مورد آزمایش قرار گیرد. برای هر ارتفاع سرریز حدود ۱۵ آزمایش در محدوده بده ۲ الی ۱۳ لیتر بر ثانیه انجام شد.

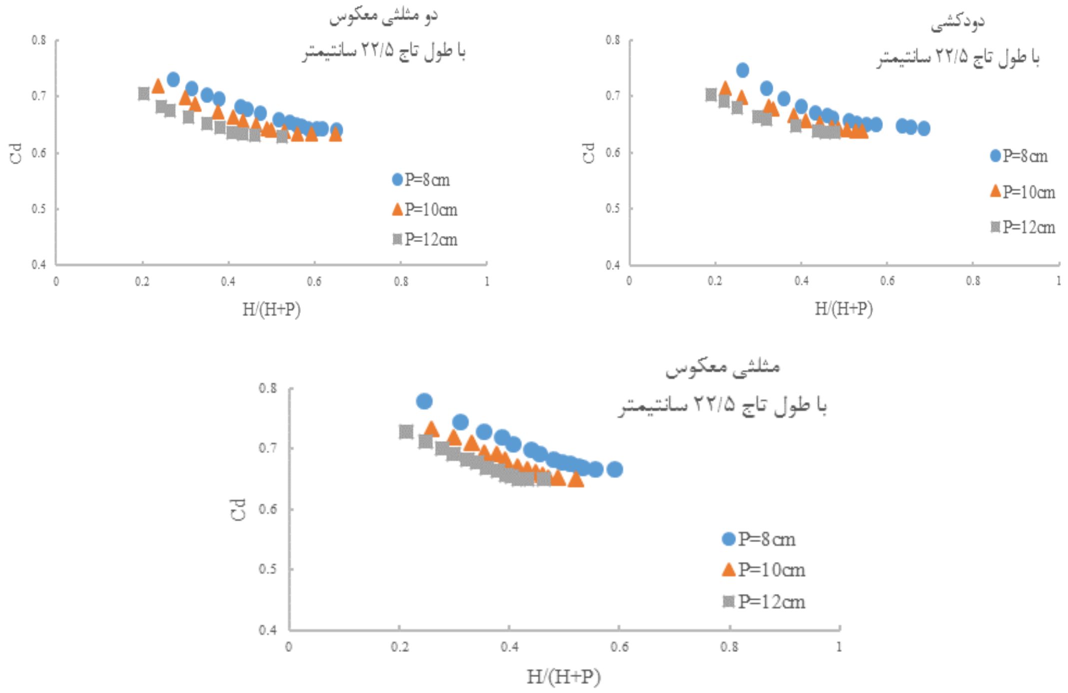
نتایج و بحث

به‌منظور بررسی امکان وجود رابطه خطی میان بده و بار آبی در سرریزهای تاسبی خطی برای تمامی آزمایش‌ها بده آزمایشگاهی در برابر بار آبی قرائت شده ترسیم گردید. در شکل (٤)، نمودار مربوط به سه سرریز به عنوان نمونه آورده شده است. با توجه به شکل (٤) ملاحظه می‌شود که رابطه خطی مورد انتظار بین بده و بار آبی در سرریزهای تناسبی خطی برای تمام مقادیر p (ارتفاع سرریز)، وجود دارد.

در شکل (٥) نیز نمودار تغییرات ضریب بده در برابر نسبت تغییرات عمق آب روی سرریز به عمق آب در بالادست نشان داده شده است. همانگونه که از شکل (٥) ملاحظه می‌شود، با افزایش عمق آب روی سرریز در هر کدام از مدل‌های سرریز طراحی شده، ضریب جریان کاهش می‌یابد. این کاهش به دلیل افزایش سطح تماس جریان عبوری با لبه سرریز و نیز افزایش فشار آب روی لایه جریان مماس بر روی لبه سرریز و در نتیجه ایجاد اصطکاک بیشتر در سطح تماس است. لازم به ذکر است که مقدار کاهش در ضریب بده با افزایش عمق کم‌تر شده و در نهایت ضریب بده تحت تاثیر افزایش عمق قرار نمی-گیرد. همچنین در شکل (٥) مشاهده می‌شود که در هنگام عبور بده کم در کلیه سرریزها با افزایش ارتفاع تاج سرریز از کف کانال ضریب بده عبوری از سرریز کاهش می‌یابد، لیکن با افزایش بده عبوری، تغییرات ایجاد شده در ضریب بده عبوری ناشی از افزایش ارتفاع کاهش می-یابد. بر این اساس میتوان انتظار داشت که در انواع سرریزهای تناسبی با توجه به هندسه مقطع سرریز روی تاج تغییرات دبی عبوری در اثر تغییرات عمق آب در کانال اصلی نسبت به حالتی که از سرریزهای معمولی استفاده شود بطور قابل توجهی کمتر و تقریبا خطی است. به منظور پیش‌بینی ضریب بده عبوری و با در نظر گرفتن ضریب بده به صورت تابعی از دو متغیر بدون بعد H/(H+P) و L/(L+P) روابطی برای پیش‌بینی ضرایب بده عبوری از میان سرریزهای آزمون شده به کمک Solver نرم افزار Excel به‌دست آمدند.



شکل ٤ رابطه بده و بار آبی در سرریزهای مثلثی معکوس آزمون شده



شکل ۵ نمودار تغییرات ضریب بده آزمایشگاهی نسبت به H/(H+P) در سرریزهای آزمون شده

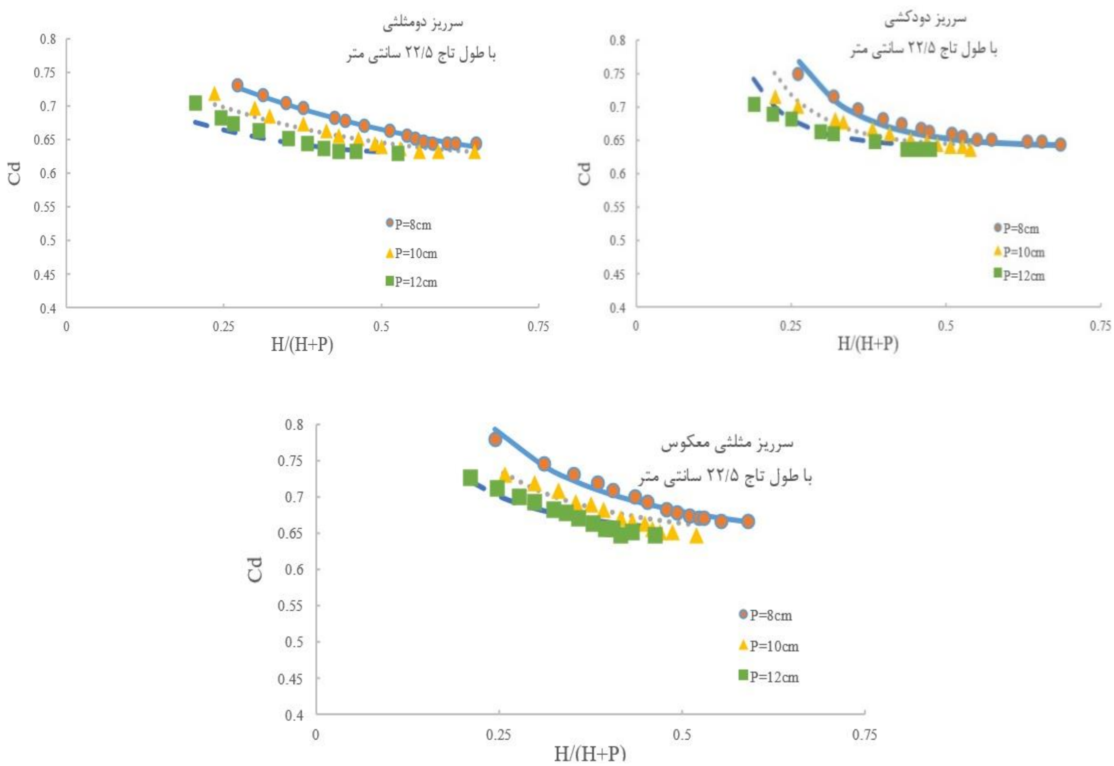
نحوه تعیین ضرایب بده پیش‌بینی شده به این صورت بود که با تعیین مقادیر متناظر H/(H+P) و L/(L+P) برای تمامی داده‌های مربوط به هر سرریز مورد مطالعه و ضرایب بده آزمایشگاهی معلوم، مقادیر ضرایب بده پیش‌بینی شده مطابق روند زیر محاسبه شد. ابتدا شکل غیر خطی برای معادله‌ی پیشنهادی ضریب بده به صورت تابعی از دو متغیر بی‌بعد مؤثر H/(H+P) و L/(L+P) تعیین شد. سپس در Solver نرم افزار Excel معادله پیشنهادی تا حدی که خطای آن نسبت به ضریب بده آزمایشگاهی در حد قابل قبول (بسیار کم) باشد، به دفعات حل شد و بعضا تغییراتی در شکل معادله پیشنهادی به‌منظور رسیدن به شکل مطلوب آن با کم‌ترین خطا میان ضرایب بده آزمایشگاهی و ضرایب بده پیش-بینی شده توسط معادله تجربی پیشنهادی صورت گرفت. لازم به ذکر است که این روند برای مجموعه داده‌های هر سرریز که شامل ارتفاع‌های مختلف است، به‌طور جداگانه انجام گرفت و در نهایت معادله پیشنهادی برای پیش‌بینی ضریب بده هر سرریز مطالعه شده ارائه شد. شکل کلی در نظر گرفته شده برای معادله پیشنهادی به‌صورت غیرخطی و به فرم معادله (٤) است.

$$C_d = \frac{a}{x^b} + \frac{c}{y^d} + e x^f y^g \qquad x = \frac{H}{H+P} \qquad y = \frac{L}{L+P} \tag{٤}$$

در معادله (٤) a، b، c، d، e، f و g مقادیر ثابتی هستند که مقدار آن‌ها با کمینه کردن خطاها، تعیین شده و برای هر سرریز متفاوت می‌باشند. معادلات تجربی پیشنهادی ضریب بده به شکل معادله (۳) برای سرریزهای مورد مطالعه در جدول (۱) معرفی شده‌اند. شکل (٦) برازش روابط پیشنهادی را با توجه به ضرایب بده آزمایشگاهی هر سرریز نشان می‌دهد. این روابط برای ارتفاع‌های مختلف از هر سرریز بسط داده شده‌اند.

جدول ۱ معادلات پیشنهادی ضرایب بده برای سرریزهای آزمون شده

معادله	درصد داده‌ها در باند خطای ۱٪±/۵	معادله پیشنهادی ضریب بده	نوع سرریز
(۵)	٪ ۸۸/۵۷	$C_d = \frac{0.26}{\left(\frac{H}{H+P}\right)^{-0.14}} + \frac{0.34}{\left(\frac{L}{L+P}\right)^{0.34}} + 0.088 \times (\frac{H}{H+P})^{-2.32} \times (\frac{L}{L+P})^{7.9}$	سرریز دودکشی با طول تاج ۲۲/۵ سانتی‌متر
(٦)	٪ ۸٦/۱۱	$C_d = \frac{0.702}{\left(\frac{H}{H+P}\right)^{0.019}} + \frac{-0.089}{\left(\frac{L}{L+P}\right)^{0.511}} + 0.152 \times (\frac{H}{H+P})^{1.549} \times (\frac{L}{L+P})^{6.865}$	سرریز دودکشی با طول تاج ۲۰ سانتی‌متر
(۷)	٪ ۸۳/۳۳	$C_d = \frac{-1.374}{\left(\frac{H}{H+P}\right)^{-0.98}} + \frac{1.176}{\left(\frac{L}{L+P}\right)^{-0.971}} + 0.817 \times (\frac{H}{H+P})^{1.189} \times (\frac{L}{L+P})^{-1.01}$	سرریز دومثلثی با طول تاج ۲۲/۵ سانتی‌متر
(۸)	٪ ۹۱/٦۷	$C_d = \frac{0.262}{\left(\frac{H}{H+P}\right)^{-0.114}} + \frac{0.341}{\left(\frac{L}{L+P}\right)^{0.253}} + 0.117 \times (\frac{H}{H+P})^{-2.18} \times (\frac{L}{L+P})^{7.629}$	سرریز دومثلثی با طول تاج ۲۰ سانتی‌متر
(۹)	٪ ۷۷/۷۸	$C_d = \frac{-0.0558}{\left(\frac{H}{H+P}\right)^{0.735}} + \frac{0.556}{\left(\frac{L}{L+P}\right)^{0.381}} + 0.214 \times (\frac{H}{H+P})^{-1.1} \times (\frac{L}{L+P})^{3.7}$	سرریز مثلثی معکوس با طول تاج ۲۲/۵ سانتی‌متر
(۱۰)	٪ ۸۳/۳۳	$C_d = \frac{0.535}{\left(\frac{H}{H+P}\right)^{0.139}} + \frac{00855}{\left(\frac{L}{L+P}\right)^{-7.71}} + 0.868 \times (\frac{H}{H+P})^{0.018} \times (\frac{L}{L+P})^{8.4}$	سرریز مثلثی معکوس با طول تاج ۲۰ سانتی‌متر



شکل ٦ مقایسه میان ضرایب بده پیش بینی شده (خطوط ممتد) و ضرایب بده آزمایشگاهی در سرریزهای آزمون شده

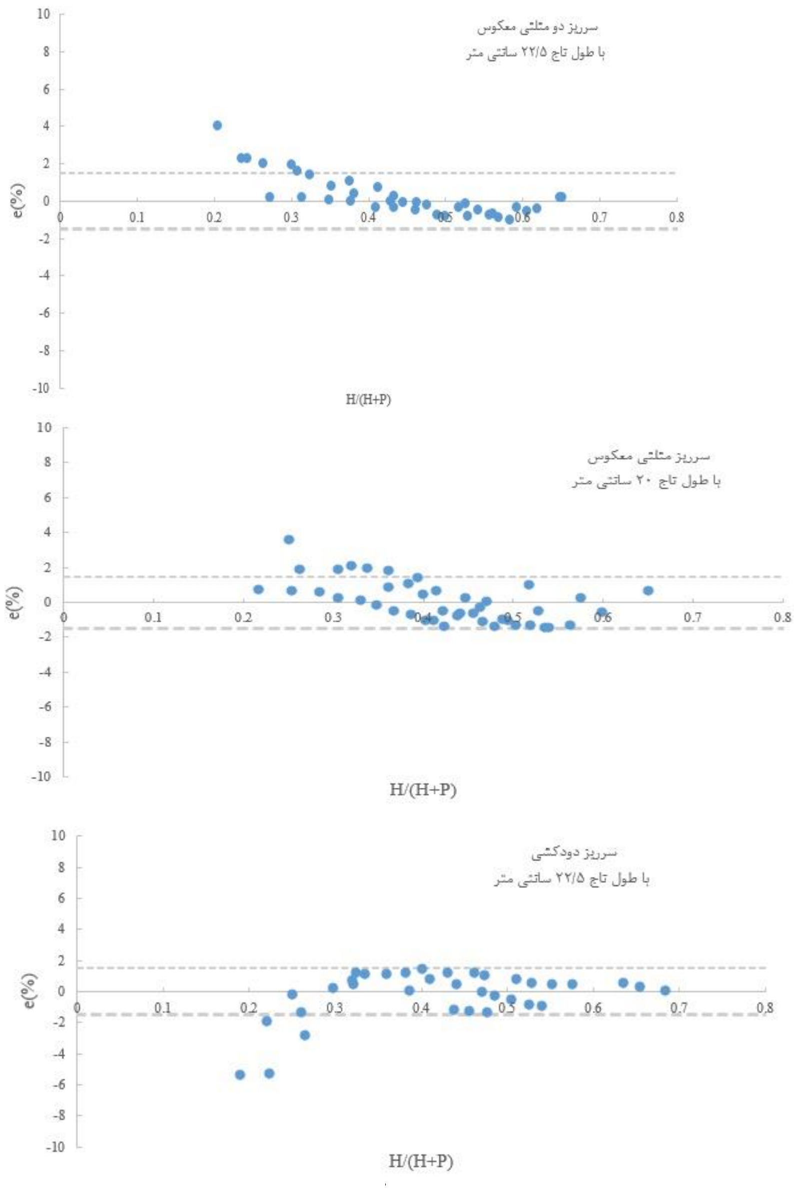
مقایسه سرریزهای آزمون شده

یکی از راه‌های مقایسه بین سرریزهای آزمون شده به‌منظور تعیین دقت آن‌ها و در نتیجه تمایز آن‌ها نسبت به یکدیگر، بررسی مقدار اختلاف میان دبی آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده با دبی محاسبه شده است. دبی محاسبه شده عبارت از حاصل‌ضرب ضرایب دبی (به‌دست آمده از روابط موجود در جدول ۱) در دبی برآورد شده می‌باشد. در این مقایسه، میزان خطای کم‌تر به مفهوم رفتار مناسب‌تر سرریز بر اساس نوع خطی بودن آن‌ها می‌باشد.

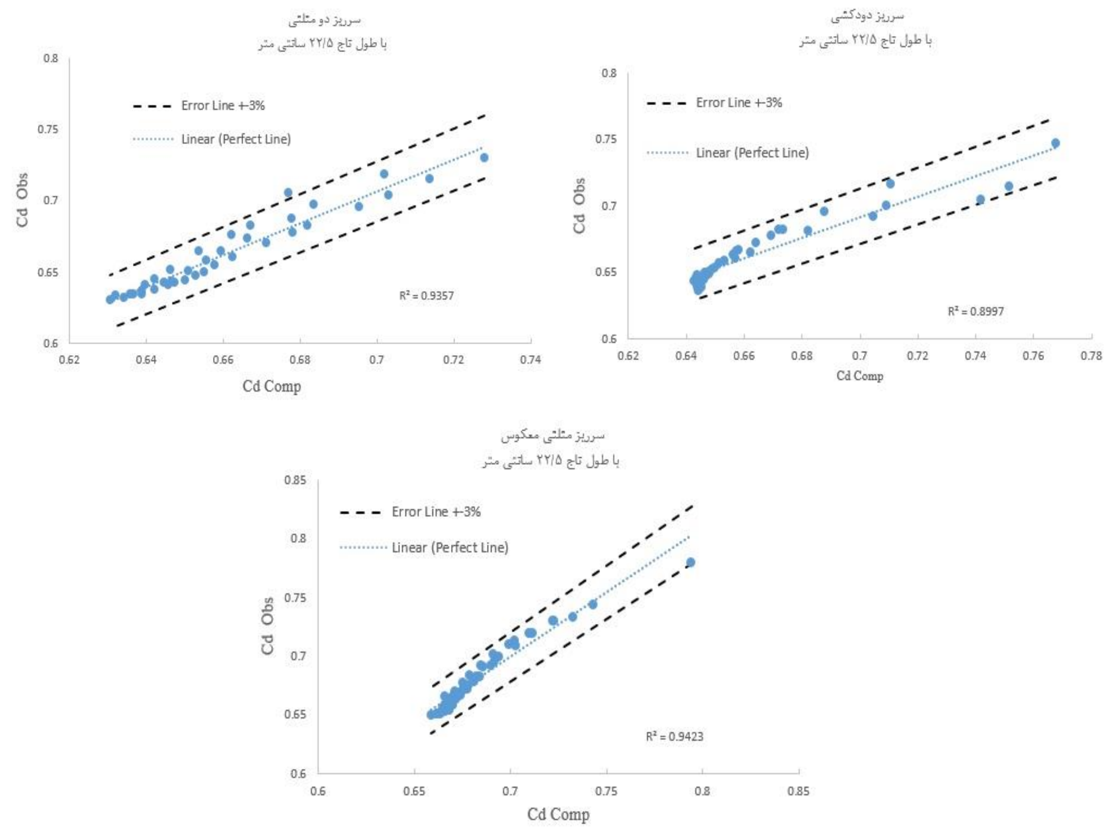
شکل (۷) میزان خطای نسبی (e%)در برابر پارامتر بی بعد H/(H+P) در برخی از سرریزهای بررسی شده را نشان می‌دهد. همچنین در شکل(۸) نمودار مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی ضریب جریان در سرریزهای تناسبی قابل مشاهده می‌باشد.

$$e(\%) = \left(\frac{Q_{exp} - Q_{pre}}{Q_{exp}}\right) \times 100 \qquad (٤)$$

در معادله فوق e(٪) درصد خطای نسبی، Q_{exp} به‌ده آزمایشگاهی و Q_{pre} به‌ده پیش بینی شده می‌باشد.



شکل ۷ خطای نسبی در برابرH/(H+P) در برخی از سرریزهای آزمون شده

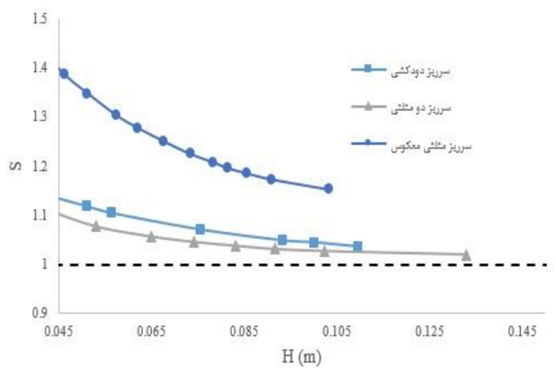


شکل ۸ نمودار مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی ضریب جریان در سرریزهای تناسبی

همانطور که از شکل (۷) مشاهده می‌شود تمام سرریزهای بررسی شده رفتار خطی مورد انتظار را نشان داده‌اند و روابط پیشنهادی دقت قابل قبولی داشته به‌طوریکه در مورد تمامی سرریزهای آزمون شده ۷۷/۷۸٪ تا ۹۱/۶۷٪ از داده‌ها دارای خطای کمتر از ۰/۵٪±۱ می‌باشند.

حساسیت هیدرولیکی سرریزهای آزمایش شده عملکرد آن‌ها را به‌خوبی نشان می‌دهد. برای تعیین حساسیت هیدرولیکی از رابطه (۱) و داده‌های آزمایشگاهی استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبات در شکل (۹) نشان داده شده است.

همانطور که در شکل (۹) دیده می‌شود با توجه به اینکه در سرریز تناسبی خطی حساسیت هیدرولیکی برابر با یک است، حساسیت هیدرولیکی سرریزهای دو مثلثی معکوس و دودکشی به طور تقریبی به یک میل می‌کند که فرض اولیه طراحی سرریز تناسبی خطی را تأئید می‌کند.



شکل ۹ حساسیت هیدرولیکی در مقابل بار آبی

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به دلیل اینکه سرریز تناسبی نسبت به

سایر سرریزها، اندازه‌گیری بده را با صحت بیشتری انجام می‌دهد، با توجه به روابط نظری توسعه یافته در زمینه‌ی سرریزهای تناسبی، شکل‌های متفاوت این سرریزها به منظور بررسی خصوصیات خطی و همچنین بررسی ضریب بده جریان عبوری از میان سرریز و پارامترهای موثر بر آن به‌عنوان ورودی آبگیرهای جانبی در کانال مستطیلی، با استفاده از روش بدون بعد طراحی و ساخته شدند و مورد آزمایش قرار گرفتند.

پس از تعیین ضرایب بده آزمایشگاهی، با استفاده از تحلیل ابعادی عوامل موثر بر ضریب بده به صورت پارامترهای بی‌بعد معرفی گردید و تأثیر آن‌ها بر ضریب بده جریان بررسی شد. عوامل موثر بر ضریب بده در این تحقیق شامل بار آبی نسبت به ارتفاع تاج سرریز از کف کانال و نسبت طول تاج سرریز به ارتفاع تاج سرریز از کف کانال می‌باشند. که نتایج نشان داد که افزایش ارتفاع تاج سرریز از کف کانال، تأثیر کاهنده و افزایش طول تاج سرریز، تاثیرافزاینده بر ضریب بده جریان دارند.

با بررسی ضرایب بده عبوری برای سرریزهای مورد مطالعه به‌عنوان آبگیر جانبی، روابطی برای پیش‌بینی ضرایب بده تحت این شرایط به صورت تابعی از دو پارامتر موثر معرفی شده، برای هر یک از سرریزها ارائه گردید. روابط ارائه شده در کل دامنه ی کاربرد کارایی داشته و از دقت بالایی برخوردار می‌باشند به طوری که در تمامی سرریزهای آزمون شده ۷۷/۸٪ تا ۹۱/۷ ٪ از داده‌ها دارای خطای کمتر از ۱/۵ ٪ ± می‌باشند.

با توجه به اینکه حساسیت نظری در سرریزهای تناسبی خطی برابر با یک می‌باشد هر چه مقادیر حساسیت آزمایشگاهی سرریزهای مورد مطالعه به مقادیر نظری گفته شده نزدیک‌تر باشد، سرریز دارای عملکرد بهتری می‌باشد. به‌منظور برآورد حساسیت آزمایشگاهی سرریزهای فوق از رابطه‌ی برازش داده شده میان بده و بار آبی هر یک از سرریزها استفاده گردید. نتایج نشان داد که در میان سرریزهای تناسبی خطی، سرریز دو مثلثی معکوس با محدوده‌ی رفتار خطی بیشتر، دارای عملکرد بهتر و مطلوب‌تری می‌باشد.

مراجع

1. Keshava Murthy, K., and Giridhar, D. P., "Inverted v-notch: Practical proportional weir", *Journal of irrigation and drainage engineering*, Vol. 115, No.6, pp. 1035-1050, (1989).
2. Bos, M.G., "Discharge measurement structures", 2nd ed. 464 pp. Publication 20, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands, pp. 17-38 (1978).
3. Keshava Murthy, K., and Pillai, K. G., "Design of constant accuracy linear proportional weir", *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 104, No.4, pp. 527-541, (1978).
4. Keshava Murthy, K., and Pillai, K. G., "Modified proportional V-notch weirs", *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 104, No.5, pp. 775-791, (1978).
5. Stout, O. V. P., " A new form of weir notch", *Transaction Nebraska Engineering Society*, Vol. 13, No.1, pp 18-24, (1897).
6. Baddour, R. E., "Head-discharge equation for sharp-crested polynomial weir", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 134, No.2, pp. 260-262, (2008).
7. Troskolanski, A. T., " Hydrometry;: Theory and practice of hydraulic measurements", Pergamon Press,

648 pages (1960).

8. Keshava Murthy, K., and Giridhar, D. P., "Improved inverted V-notch or chimney weir", *Journal of irrigation and drainage engineering*, Vol. 116, No.3, pp. 374-386, (1990).
9. Swamee, P. K., Pathak, S. K., Agarwal, M., and Ansari, A. S., "Alternative linear weir design", *Journal of irrigation and drainage engineering*, Vol. 117, No.3, pp. 311-323, (1991).
10. Vatankhah, A. R., and Kouchakzadeh, S., "Discussion of Head-discharge equation for sharpcrested polynomial weir", by Baddour, R.E. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 135, No.3, pp. 393-395, (2009).
11. Vatankhah, A. R., "Head-Discharge Equation for Sharp Crested Weir with Piecewise-Linear Sides", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 138, No.11, pp. 1011-1018, (2012).
12. Aslani, N., Ebrahim, T., Vatankhah, A. R., "Experimental Study of Linear And Logarithmic Proportional Weir In Rectangular Channels", *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 8, No.4, pp. 43-53, (2014).